

температурах воздуха и скоростях ветра. Кроме того, оперативному персоналу необходимо почаще производить осмотр участков линий, наиболее подверженных гололеду.

Кроме того для защиты ВЛ-110 кВ от грозových перенапряжений рекомендуем устанавливать защиту с помощью вентильных и трубчатых разрядников.

Полученные результаты используются для анализа показателей надежности электроэнергетической системы [4].

Список использованных источников

1. Васильев И. Е. Анализ, расчет и прогнозирование потребления электроэнергии в горнорудной промышленности: монография / под ред. А. А. Губарева, Сев.-Осет.гос.ун-т. Владикавказ : Изд-во СОГУ, 1992 .
2. Васильев И. Е., Темиров П. Г., Ключев Р. В. Исследование, анализ и прогнозирование структурной надёжности электроэнергетической системы АО «Севкавказэнерго». Депонир. в ВИНТИ, № 2646-B99, СКГТУ, Владикавказ, 1999. – 41 с.
3. Васильев И. Е., Темиров П. Г., Ключев Р. В. Методика оценки влияния климатических факторов на надёжность ЛЭП 115 кВ электроэнергетических систем // Труды СКГТУ. 1999. Вып. 6. С. 129–132.
4. Ключев Р. В., Кусов И. Р. Анализ показателей надежности электроэнергетической системы // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием (Екатеринбург, 15–18 декабря 2015 г.). Екатеринбург : УрФУ, 2015. С. 138–140.

УДК 624.9

КОМПЬЮТЕРНЫЕ МОДЕЛИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

COMPUTER MODELS OF PIPELINE SYSTEMS

Еремин А. В., Стефанюк Е. В., Ковалева Ю. К.,

Попов А.И., Бородинов Г. И.

Самарский государственный технический университет, г. Самара,

a.v.eremin@list.ru

Eremin A. V., Stefanyuk E. V., Kovaleva Yu. K.,
Popov A. I., Borodinov G. I.
Samara State Technical University, Samara

Аннотация: Представлены результаты разработки метода построения компьютерных моделей сложных разветвленных трубопроводных систем различного назначения, основанного на электрогидравлической аналогии процессов распространения тока в проводниках и жидкости в трубопроводах, эти два процесса описываются одинаковыми уравнениями.

Abstract: This paper describes the results of the development of mathematical and computer models of complex multi-loop branched pipeline networks for various purposes based on the electro hydraulic analogy of current spread in conductors and fluids in pipelines described by the same equations. Kirchhoff's laws used in the calculation of electrical networks are applied in the calculations for pipeline systems.

Ключевые слова: *трубопроводные системы; компьютерная модель; электрогидравлическая аналогия; законы Кирхгофа.*

Key words: *pipeline networks; computer model; electro hydraulic analogy; Kirchhoff's laws.*

В математической модели, описывающей движение жидкости в трубах, входят нелинейные дифференциальные уравнения переноса, решение которых затруднительно с помощью не только аналитических, но и численных методов. Поэтому теория, основанная на электрогидравлической аналогии, является эффективной заменой процесса непосредственного математического моделирования. Разработке этой теории посвящены публикации Сухарева М. Г., Меренкова А. Г., Хасилева В. Я., Коваленко А. Г., Соколова Е. Я. и др. [1–4]. В частности, в работах [1, 2] дана последовательность по использованию для этих целей законов Кирхгофа.

Идею метода рассмотрим на примере определения расходов в сети, включающей одно кольцо с двумя ответвлениями (рис. 1).

Расходы по ответвлениям Q_1 , Q_2 заданы, а их сумма равна расходу Q на входе в кольцо. Требуется найти расходы Q_a , Q_b , Q_d по участкам a , b , d кольца.

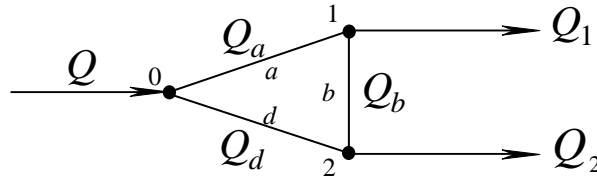


Рис. 1. Расчетная схема модели

Первый закон Кирхгофа устанавливает равенство притока и оттока среды в любом узле $\sum_{i=1}^n Q_i = 0$, а второй – равенство нулю суммы напоров для любого замкнутого контура $\sum_{i=1}^n H_i = \sum_{i=1}^n S_i Q_i^2 = 0$, где S_i , Q_i , $(i = \overline{1, n})$ – гидравлическое сопротивление и расход на i – м участке; n – число трубопроводов, соединяющихся в узле (первый закон Кирхгофа) и, в замкнутом контуре (второй закона Кирхгофа). Используя приведенные соотношения на основе итеративного метода расчёта по заданным расходам на входе в кольцо и по его ответвлениям находятся расходы на всех участках кольца. На первом шаге итерации по участкам кольца задаются произвольные расходы. Следовательно, следуя закону Кирхгофа

$$Q_d = Q - Q_a; \quad Q_a = Q_1 + Q_b. \quad (1)$$

Из второго закона Кирхгофа получаем

$$\delta H = \sum_{i=1}^3 S_i Q_i^2 = S_a Q_a^2 + S_b Q_b^2 - S_d Q_d^2. \quad (2)$$

На основе последнего соотношения можно найти увязочный расход, положив $\delta H = 0$. Подставляя (1) в (2), пренебрегая членами $(\delta Q)^2$, как весьма малыми, учитывая произвольно принятые на первом шаге итерации расходы по участкам, находим

$$\delta Q = \delta H / \left(2 \sum_{i=1}^3 S_i Q_i \right), \quad (3)$$

где $\sum_{i=1}^3 S_i Q_i = S_a Q_a + S_b Q_b + S_d Q_d$.

После нахождения на первом шаге итерации δQ по формуле (3) расходы по участкам кольца уточняются с повторением расчёта. Итерации продолжаются до получения на двух последних итерациях одинаковых расходов.

При построении модели необходимо находить её гидравлические характеристики (зависимости потерь напора от расхода) всех её участков. Например, потери напора в трубопроводе включают линейные и местные потери

$$\Delta h = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} + \sum \xi \frac{v^2}{2g}. \quad (4)$$

Участки – насосы в модели представлены зависимостями, связывающими напор насоса и его подачу. Характеристика насоса определяется формулой $H = H_\phi - Q_n^m S_\phi$, где H_ϕ – напор при закрытой на выходе задвижке $Q_n = 0$, м; Q_n – подача насоса, м³/с; S_ϕ – гидравлическое сопротивление насоса, кг/м³.

Рассмотренный выше алгоритм применен при построении компьютерной модели теплосетей централизованного теплоснабжения от Безымянской ТЭЦ (БТЭЦ), г. Самара.

Принципиальная схема теплосети, включающая два тепловых вывода 1–Б и 2–Б, приведена на рис. 2.

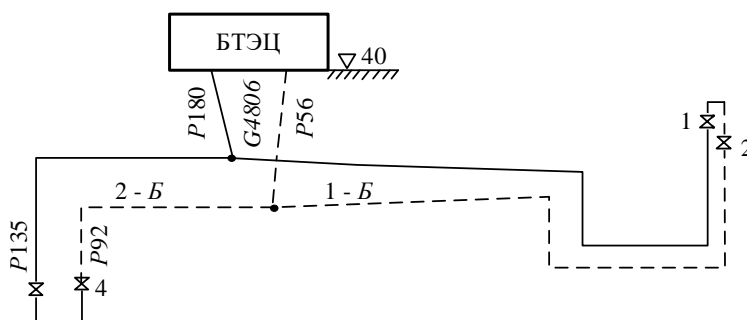


Рис. 2. Принципиальная схема в теплосети от БТЭЦ

P – давление, м вод. ст.; G – расход, т/ч; — — — — — прямой трубопровод,
 - - - - - обратный трубопровод; 1–Б и 2–Б – тепловые выводы

Расчеты, выполненные на компьютерной модели показали недостаточный перепад давлений между прямым и обратным трубопроводами на тепловыводе 1–Б, составляющий около 5 м вод. ст. при минимально допустимом (нормативном) 20 м вод. ст. Причиной могут быть: недостаточные диаметры трубопроводов и большой расход теплоносителя (рис. 3).

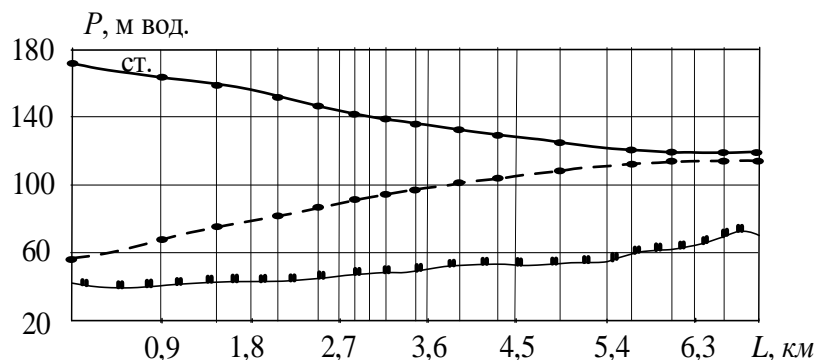


Рис. 3. Распределение давления на 1–Б выводе БТЭЦ

L – длина трубопроводов; $\square\square\square$ – отметка высоты на местности; \bullet – тепловые камеры, в которых задан расход теплоносителя потребителям теплоты;
 ————— – прямой трубопровод; - - - - - – обратный трубопровод

Список использованных источников

1. Теплофикация и тепловые сети / Е. Я. Соколов. М. : Энергоиздат, 1982. 360 с.
2. Кудинов И. В., Колесников С. В., Еремин А. В., Бранфилова А. Н. Компьютерные модели сложных многокольцевых разветвленных трубопроводных систем // Теплоэнергетика. 2013. № 11. С. 64–69.
3. Система синтеза и анализа гидравлических сетей / А. Г. Коваленко, К. С. Туева. М. : Вычислительный центр АН СССР, 1989. 70 с.
4. Теория гидравлических цепей / А. П. Меренков, В. Я. Хасилев. М. : Наука, 1985. 278 с.

УДК 624.9

ПОДЗЕМНАЯ ГАЗИФИКАЦИЯ УГЛЯ

UNDERGROUND COAL GASIFICATION

Ефимовых И. С., Богатова Т. Ф.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,

i.s.efi@mail.ru